

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LE RÉGIME ALIMENTAIRE DE LA STERNE
HANSEL *GELOCHELIDON NILOTICA* EN RÉGION MÉDITERRANÉENNEAlbert BERTOLERO^{1,*} & Sofia RIVAES¹¹ Associació Ornitològica Picapall de les Terres de l'Ebre, C/ Trinquet 10-12 Local 9G. 43580 Deltebre, Espagne

*Auteur pour la correspondance. E-mail : albertb@tinet.org

SUMMARY.— *Synthesis of the knowledge about Gull-billed Tern Gelochelidon nilotica diet in the Mediterranean area.*—This work analyses diet composition and trophic diversity of the Gull-billed Tern in 11 colonies in the Mediterranean basin based on published papers and original data from the Ebro Delta (NE Spain). Spearman correlation and correspondence analysis were used to assess the relationship between diet characteristics (trophic diversity and composition) and geographic localization of colonies. Insects were predominant in the diet of the Gull-billed Tern in the Ebro Delta (77.6%), as well as for most of the populations studied (mean of 59.4 % by population). Within insects, coleopterans and orthopterans were the most consumed. For the populations preferring aquatic prey (two localities), crustaceans were the most consumed prey. Vertebrates were less abundant in number (median of 8.5 % by population) and within this group, amphibians were predominant. We did not find any similarity in the diet depending on the geographic proximity of the populations nor any relationship between latitude of population and trophic diversity (reciprocal of index of Simpson 1/H). Finally, in the Mediterranean basin the diet of the Gull-billed Tern is basically formed by insects caught in terrestrial habitats.

RÉSUMÉ.— Ce travail analyse le régime alimentaire de la Sterne hansel dans 11 colonies localisées en région Méditerranéenne à partir de travaux publiés et de données originales du delta de l'Ebre (NE Espagne). Nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Spearman et l'analyse factorielle des correspondances pour déterminer s'il y a des relations entre le régime alimentaire (diversité trophique et composition) et la localisation géographique des colonies. Les insectes constituent la proie prédominante dans le régime alimentaire de la Sterne hansel du delta de l'Ebre (77,6 %) ainsi que dans la plupart des colonies (moyenne de 59,4 % par colonie). Parmi les insectes, les Coléoptères et les Orthoptères sont les plus consommés. Dans les populations où les proies aquatiques abondent (deux colonies), les crustacés sont les proies prédominantes. Les vertébrés sont numériquement peu abondants (médiane 8,5 % par colonie), les amphibiens étant les plus nombreux dans ce groupe. Les colonies les plus proches ne présentent pas une plus grande similarité dans le régime alimentaire et on ne trouve pas de relation entre la latitude des colonies et leur diversité trophique (inverse de l'indice de Simpson 1/H). Finalement, en région Méditerranéenne, le régime alimentaire de la Sterne hansel est constitué principalement d'insectes capturés dans les milieux terrestres.

La plupart des espèces de la famille *Sternidae* se nourrissent dans les milieux aquatiques, tandis que la Sterne hansel *Gelochelidon nilotica* est capable d'utiliser aussi bien les milieux aquatiques que terrestres (Gochfeld & Burger, 1996). Largement distribuée dans les régions tropicales et tempérées du monde entier, la Sterne hansel présente une alimentation très diversifiée, constituée d'invertébrés et de petits vertébrés (Cramp, 1985 ; Gochfeld & Burger, 1996). Selon les localités étudiées, le régime alimentaire a été classé comme généraliste, dans les cas où le nombre de taxa utilisé est élevé, ou comme spécialiste, dans le cas contraire (*sensu* Møller, 1982). L'habilité de cette espèce à profiter d'une très large variété de proies est conditionnée par la localisation des colonies, l'année, l'heure de capture et la période du cycle reproducteur (Cabo & Sánchez, 1986 ; Bogliani *et al.*, 1990 ; Goutner, 1991 ; Sánchez *et al.*, 1993 ; Dies *et al.*, 2005). La plupart des informations disponibles concerne le régime alimentaire des populations reproductrices européennes, et plus particulièrement des colonies méditerranéennes (Møller, 1977 ; Vargas *et al.*, 1978 ; Costa 1984 ; Cabo & Sánchez 1986 ; Bogliani *et al.*, 1990 ; Goutner, 1991 ; Sánchez *et al.*, 1991, 1993 ; Dies *et al.*, 2005). Les buts de ce travail sont : 1) d'analyser le régime alimentaire

dans une colonie du delta de l'Èbre (NE Espagne) lors de l'incubation des œufs et des premières éclosions, et 2) de déterminer si la diversité alimentaire des différentes populations suit un patron géographique dans le bassin Méditerranéen.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le régime alimentaire a été étudié à partir de l'analyse des pelotes de régurgitation collectées durant la saison reproductrice de 1996 dans une colonie de 262 couples du Parc Naturel du Delta de l'Èbre (40°38'N, 00°44'E). La colonie occupait une digue sans végétation de l'ancienne saline de Sant Antoni, dans l'étang de la Tancada. Les pelotes de régurgitation ont été collectées lors du recensement des couples (75 pelotes le 27.V.1996) et lors des premières éclosions (104 pelotes le 07.VI.1996). Les proies dans chaque pelote ont été identifiées et quantifiées au niveau de l'ordre ou de la classe. Dans chaque pelote nous avons déterminé le nombre minimal d'individus en comptant le nombre d'appendices (pattes, élytres, os, têtes, etc.). L'importance de chaque type de proie est exprimée en fréquence d'occurrence (%P : taux de pelotes concernées par chaque catégorie de proie) et en fréquence d'abondance relative (%N : taux de chaque catégorie de proie pour l'ensemble des proies).

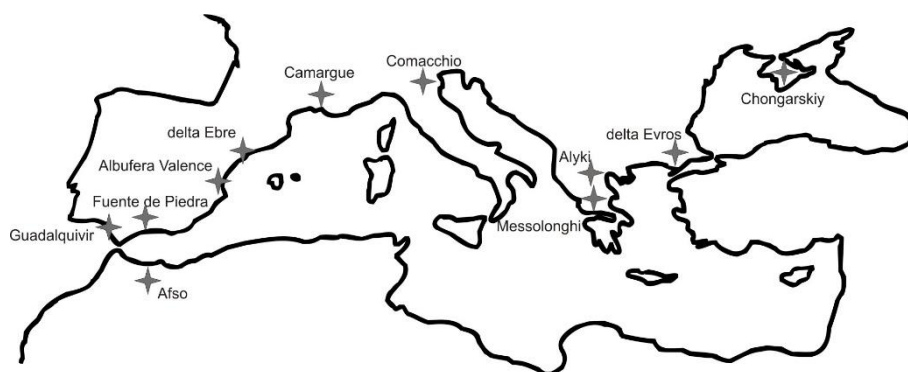


Figure 1.— Situations des colonies de *Sterne hansel* en région méditerranéenne pour lesquelles l'information du régime alimentaire pendant la saison reproductrice est disponible.

Les données du régime alimentaire dans les différentes populations méditerranéennes ont été extraites de la bibliographie (Fig. 1 & Tab. II). Nous avons suivi les travaux de Jost (2006, 2007) pour calculer la « diversité réelle » (ou nombre effectif des espèces) qui est le nombre d'espèces également communes nécessaires pour obtenir une valeur particulière d'un indice. Dans notre cas, c'est le nombre effectif de groupes taxinomiques des proies de chaque population et nous avons comme mesure de diversité l'inverse de l'indice de Simpson (Jost, 2006, 2007) ($D = 1/H$, où $H = \sum_{i=1}^S p_i^2$). Cette diversité est d'ordre 2, car elle est plus sensible aux espèces communes (Jost, 2006, 2007), qui s'avèrent être dans notre cas les proies les plus consommées dans chaque population. Ces calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel SPADE (Chao & Shen, 2010). Comme les proies n'ont pas été classées au même niveau taxinomique dans les différents travaux, les données ont été regroupées selon les huit catégories suivantes : insectes, crustacés, autres invertébrés, poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères. Nous avons considéré deux types d'habitats pour l'origine des proies : terrestre (insectes, autres invertébrés, reptiles, oiseaux et mammifères) et aquatique (crustacés, poissons et amphibiens). Les insectes ont été tous considérés comme terrestres, car toutes les informations disponibles au niveau de l'ordre (adultes d'odonates et orthoptères) indiquent qu'il s'agit toujours d'espèces terrestres. Dans le cas des coléoptères, la plupart sont aussi des espèces terrestres, les aquatiques se trouvant dans de très faibles proportions (maximum 2.7% à l'Albufera de Valence). Comme l'un des objectifs de ce travail est d'analyser la composition du régime alimentaire dans une vaste région géographique, pour réduire l'hétérogénéité des informations (p.e. différentes années d'observation pour une même population ou d'observations avant et après les éclosions) et pour éviter les pseudo-répliques, toutes les données d'une même population ont été considérées comme un unique échantillon. Le test de Mantel a été utilisé pour déterminer si la proximité géographique des colonies est liée à la diversité observée. Nous avons fait un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) pour déterminer si la méthode d'analyse pouvait influencer la proportion des invertébrés avec exosquelette selon la latitude. Finalement, pour déterminer les relations entre les colonies et les régimes alimentaires, nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances (AFC) avec un cadrage de type 1 (ordination par localités ; Legendre & Legendre, 1998). Pour effectuer les calculs nous avons utilisé le logiciel R 2.10.1 (R Development Core Team, 2010) avec le package "ca".

RÉSULTATS

RÉGIME ALIMENTAIRE DANS LE DELTA DE L'ÈBRE

Les proies les plus abondantes, en nombre total comme en taux d'apparition, appartiennent au groupe des insectes et plus spécifiquement à l'ordre des Orthoptères et des Coléoptères (77,6 % des proies ; Tab. I). Dans ces deux ordres d'insectes, les espèces les plus consommées sont les Courtilières *Gryllotalpa gryllotalpa* et le Scarabée rhinocéros *Phyllognathus silenus*. L'ordre des Décapodes est également bien représenté, notamment par l'Écrevisse américaine *Procambarus clarkii*, bien que leur nombre total ne soit pas très élevé (Tab. I).

TABLEAU I

Descripteurs de la composition du régime alimentaire de la Sterne hansel selon la catégorie taxinomique des proies au delta de l'Èbre- P= taux d'apparition; N= fréquence d'abondance relative.

Catégorie taxinomique	Nombre de proies	Nombre de pelotes	% P	% N
O. Décapodes	84	80	44,69	12,98
O. Coléoptères	289	122	68,16	44,67
O. Diptères	1	1	0,56	0,15
O. Odonates	1	1	0,56	0,15
O. Orthoptères	213	105	58,66	32,92
O. Anoures	42	42	23,46	6,49
Cl. Actinoptérygien	3	3	1,68	0,46
Cl. Aves	10	10	5,59	1,55
Indéterminée	4	4	2,23	0,62

DIVERSITÉ ALIMENTAIRE

Le régime alimentaire de la plupart des populations est dominé par les insectes (8 des 11 populations analysées), avec une abondance moyenne par population de 59,4 % des proies (médiane 52,9 % ; Tab. II). Dans le groupe des insectes (sans information quantitative pour la population de Chongarskiy, Ukraine) l'ordre des Coléoptères est le plus consommé (médiane 27,8 %), les Orthoptères étant en deuxième position (médiane 17,7 %). La consommation des vertébrés varie beaucoup entre les populations, avec une médiane de 8,5 %. Parmi ceux-ci, les amphibiens sont les plus nombreux (médiane 3,9 %), les oiseaux, les mammifères et les reptiles étant les moins consommés (Tab. II ; excepté la population de Comacchio où les reptiles sont très communs). Seul les insectes et les amphibiens sont consommés dans toutes les populations. La plupart des proies sont d'origine terrestre (médiane par population 66,5 %).

La présence de proies avec exosquelettes (insectes et crustacés ensemble) selon la latitude ne dépend pas de la méthode de détermination des proies (pelotes *versus* observations directes ; GLMM $t = -1,688$, $df = 8$, $P = 0,134$). D'après ces résultats nous considérons que les deux méthodes peuvent être utilisées ensemble pour analyser le régime alimentaire de la Sterne hansel dans un contexte général. Le test de Mantel indique qu'il n'y a pas de corrélation entre la distance géographique des populations et leur régime alimentaire, de façon que les colonies les plus proches n'ont pas de régimes alimentaires semblables ($r = 0,013$, $P = 0,433$).

La diversité réelle, calculée par l'inverse de l'indice de Simpson (dans notre cas, nombre effectif de catégories des proies), a été maximale à Chongarskiy (Ukraine) et minimale à Fuente de Piedra (Espagne) et Alyki (Grèce), avec en moyenne 1,9 catégories de proies par population (médiane 2,0) (Fig. 2). Néanmoins, on ne trouve pas de relation entre la diversité réelle des proies et la latitude de chacune des populations (coefficient de corrélation de Spearman $n = 11$, $r = 0,218$, $P = 0,521$).

TABLEAU II.

Diversité (inverse de l'indice de Simpson ($D = 1/H$) et fréquence d'occurrence celons les catégories de proie pour chaque population de *Sterne hansel* du bassin Méditerranéen. ME = méthode d'étude (O = observations directes ; P = pelotes de régurgitation)

Localités	Latitude	D±SE	Insectes	Crustacés	Invertébrés	Poissons	Amphibiens	Reptiles	Oiseaux	Mammifères	ME	Référence
Chongarskiy	46°02'	3,407±0,392	42,00	-	-	25,00	24,00	7,00	1,00	1,00	O	Borodulina (1966, in Cramp [1985])
Comacchio	44°41'	2,042±0,394	17,07	-	-	11,38	1,63	66,94	0,27	2,71	O	Bogliani <i>et al.</i> (1990)
Camargue	43°20'	2,037±1,161	66,00	16,92	-	-	16,58	0,17	0,17	0,17	P	Møller (1977)
Delta de l'Evros	40°47'	1,251±0,706	89,12	5,85	0,30	0,15	3,92	0,37	-	0,30	P	Goutner (1991)
Delta de l'Èbre	40°38'	1,569±0,486	78,52	12,98	-	0,46	6,49	-	1,55	-	P	présent étude
Alyki	40°21'	1,041±0,923	98,01	-	1,14	-	0,28	-	0,28	0,28	P	Goutner (1991)
Albufera de Valence	39°20'	1,933±0,422	18,05	69,23	0,20	6,51	3,16	2,47	0,39	-	O	Dies <i>et al.</i> (2005)
Messolonghi	38°20'	2,276±0,469	39,26	53,31	0,41	1,24	5,79	-	-	-	P	Goutner (1991)
Fuente de Piedra	37°06'	1,010±0,892	99,51	-	0,20	0,03	0,12	-	0,14	-	P	Vargas <i>et al.</i> (1978), Sánchez <i>et al.</i> (1991)
Guadalquivir	37°00'	2,156±1,194	52,85	42,83	0,02	0,85	3,45	-	-	-	P	Costa (1984)
Afso	34°51'	2,002±1,227	51,41	-	-	-	48,59	-	-	-	P	Cabo & Sánchez (1986)
Abondance moyenne (SD)			59,38 (29,69)	18,28 (25,06)	0,08 (0,14)	4,15 (7,81)	10,37 (14,65)	6,99 (19,99)	0,35 (0,49)	0,41 (0,82)		
Abondance médiane			52,85	5,86	0,00	0,46	3,93	0,00	0,17	0,00		

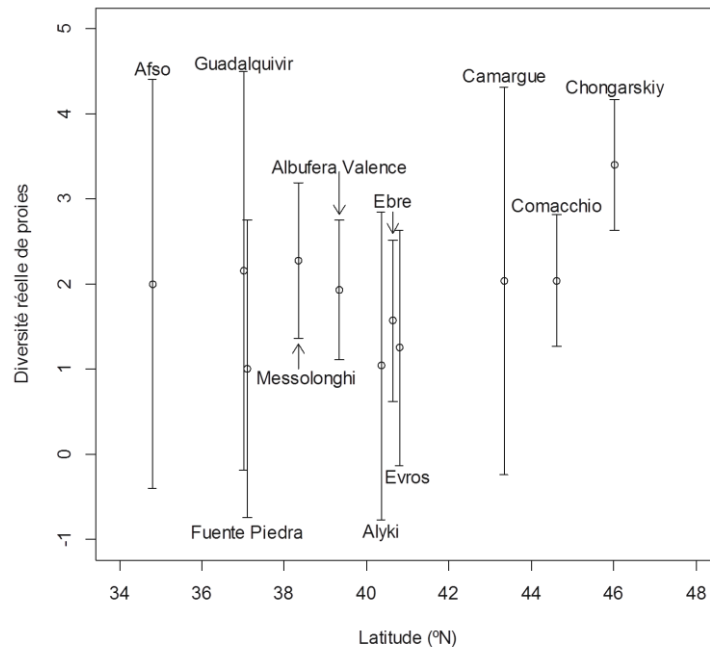


Figure 2.— Relation entre la diversité réelle de groupe de proies (1/H, inverse de Simpson, avec l'intervalle de confiance à 95 %) et la latitude où se situe chaque colonie.

En fait, des populations éloignées sur le plan latitudinal (34° N à 44° N) montrent une diversité réelle des catégories des proies équivalente (populations de Comacchio, Camargue, Albufera de Valence, Messolonghi, Guadalquivir et Afso, toutes avec deux catégories de proies ; Fig. 2).

Les deux premiers axes de l'AFC expliquent 79,9 % de la variance (Fig. 3). Le premier axe sépare la population de Comacchio, pour laquelle les vertébrés (reptiles et mammifères) constituent une partie importante du régime alimentaire des populations où prédominent les insectes et les crustacés et de la population de Chongarskiy, avec une forte présence des poissons dans le régime alimentaire. Le deuxième axe sépare les populations comportant un grand nombre de crustacés (plus de 40 % des proies) et un nombre modéré de poissons (Guadalquivir, Messolonghi et Albufera de Valence) des populations pour lesquelles les insectes et les amphibiens sont dominants (Alyki, delta de l'Evros, delta de l'Ebre, Fuente de Piedra et Camargue). La population de Comacchio est la seule à se caractériser par un régime alimentaire riche en reptiles (lézards [Bogliani *et al.*, 1990] ; Tab. II).

DISCUSSION

La plupart des études portant sur le régime alimentaire de la Sterne hansel ont été menées à la saison reproductrice par l'analyse des pelotes de régurgitation et, moins souvent, par l'observation directe des proies données aux partenaires ou aux poussins.

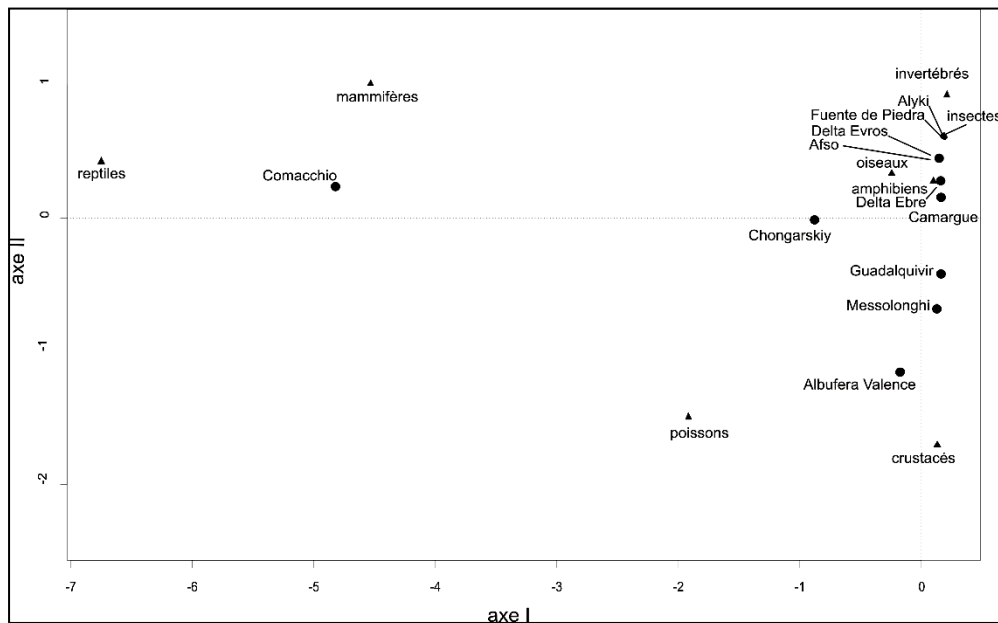


Figure 3.— Diagramme de double projection sur l'analyse factorielle des correspondances des colonies (points noirs) et des catégories de proies (triangles noirs).

De façon générale, on considère que l'utilisation des pelotes de régurgitation biaise les résultats en faveur des proies ayant des parties dures (Duffy & Jackson, 1986 ; Barrett *et al.*, 2007). En particulier, pour la Sterne hansel, Bogliani *et al.* (1990) trouvent que les pelotes surévaluent la présence des insectes, sans toutefois apporter plus d'information sur la magnitude de ces différences. Møller (1982) considère quant à lui que l'analyse de pelotes est peu biaisée en dehors de quelques organismes mous peu ou nullement détectés. Pour notre part, nous n'avons pas trouvé d'effet de la méthode de détermination du régime alimentaire dans la proportion de proies avec exosquelette à différentes latitudes. De toute façon, comme l'a proposé Goutner (1991), nous considérons qu'il faudrait étudier le régime alimentaire selon les deux méthodes pour une même colonie afin d'évaluer les biais introduits par chacune des méthodes.

Dans la plupart des colonies méditerranéennes, on constate que le régime alimentaire de la Sterne hansel est constitué d'insectes (Tab. II) ce qui semble en désaccord avec une étude récente utilisant la technique des isotopes stables qui classe cette espèce dans le delta de l'Èbre comme un prédateur de proies liées aux milieux aquatiques doux et, en moindre proportion, de proies liées aux milieux terrestres (Cotin *et al.*, 2011). Ceci peut être lié à la méthodologie des analyses, à la différente localisation des colonies ou à une évolution de la disponibilité des proies entre années (1996 *versus* 2006-2008), comme celui reporté par Goutner (1991) en Grèce.

Les résultats obtenus par l'ACF et le test de Mantel indiquent que le régime alimentaire de la Sterne hansel ne suit pas un patron de proximité géographique dans le bassin Méditerranéen. En concordance avec le travail de Goutner (1991), nous ne trouvons pas non plus de variations latitudinales, avec des populations généralistes au nord et spécialistes au sud, comme l'avaient proposé Møller (1977, 1982) et Sánchez *et al.* (1993). En fait, nous trouvons que la diversité de proies est semblable à des latitudes différentes (Fig. 2) et que la consommation ne concerne pratiquement que deux catégories de proies variant d'une population à une autre (Tab. II). Il faut remarquer que les travaux de Møller (1982) et Sánchez *et al.* (1993) analysent un nombre plus réduit de colonies (sept et cinq, respectivement) et que tous les deux incluent la population du

Danemark avec la plus haute diversité de proies (Møller, 1977), ce qui fait que les corrélations sont significatives.

Finalement la Sterne hansel présente dans le bassin Méditerranéen un régime alimentaire diversifié (huit catégories de proies), parfois orienté vers les insectes, parfois vers les crustacés parfois enfin, vers les petits vertébrés, mais peu diversifié dans chaque population particulière (généralement deux catégories). Les invertébrés terrestres sont les proies qui dominent quantitativement (insectes, notamment Coléoptères et Orthoptères), suivi des proies aquatiques, représentées par les Crustacés. Ce large éventail de proies met en évidence la grande capacité de cette sterne à profiter des proies très diverses et possiblement les plus abondantes localement ou temporairement (Dies *et al.*, 2005; Erwin *et al.*, 1998, Goutner, 1991, Bogliani *et al.*, 1990).

REMERCIEMENTS

Nous remercions Ralf Braun pour sa participation dans l'analyse des pelotes de régurgitation, Beate Pfau pour l'aide bibliographique, Carles Alcaraz pour son aide lors des analyses et le Parc Naturel du Delta de l'Èbre pour toutes les facilités qui nous ont été offertes. Nous tenons aussi à remercier Marc Cheylan pour son amicale relecture du manuscrit et les deux réviseurs anonymes pour leurs conseils.

RÉFÉRENCES

- BARRETT, R.T., CAMPHUYSEN, C.J., ANDER-NILSEN, T., CHARDINE, J.W., FURNESS, R.W., GARTHE, S., HÜPPOP, O., LEOPOLD, M.F., MONTEVECCHI, W.A. & VEIT, R.R. (2007).— Diet of seabirds: a review and recommendations. *ICES J. Mar. Sci.*, 64: 1675-1691.
- BOGLIANI, G., FASOLA, M., CANOVA, L. & SAINO, N. (1990).— Food and foraging rhythm of a specialized gull-billed tern population *Gelochelidon nilotica*. *Ethol. Ecol. Evol.*, 2: 175-181.
- CABO, J.M. & SÁNCHEZ, J.M. (1986).— Nouvelles données sur *Gelochelidon nilotica* au Maroc et sur son régime alimentaire. *Alauda*, 54: 207-212.
- CHAO, A. & SHEN, T.-J. (2010).— *Program SPADE (Species Prediction And Diversity Estimation)*. Program and User's Guide. <http://chao.stat.nthu.edu.tw>.
- COSTA, L. (1984).— Alimentación de la pagaza piconegra (*Gelochelidon nilotica*) en las marismas del Guadalquivir. *Doñana, Acta Vert.*, 11: 185-195.
- COTIN, J., GARCÍA-TARRASÓN, M., SANPERE, C., JOVER, L. & RUIZ, X. (2011).— Sea, freshwater or salt pans? Foraging ecology of terns to assess mercury inputs in a wetland landscape: the Ebro Delta. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 92: 188-194.
- CRAMP, S. (1985).— *The Birds of the Western Palearctic*, Vol. 4. Oxford University Press, Oxford.
- DIES, J.I., MARÍN, J. & PÉREZ, C. (2005).— Diet of nesting gull-billed terns in eastern Spain. *Waterbirds*, 28: 106-109.
- DUFFY, D.C. & JACKSON, S. (1986).— Diet studies of seabirds: a review of methods. *Colon. Waterbirds*, 9: 1-17.
- ERWIN, R.M., EYLER, T.B., HATFIELD, J.S. & MCGARY, S. (1998).— Diets of nestling gull-billed terns in coastal Virginia. *Colon. Waterbirds*, 21: 323-327.
- GOCHFELD, M. & BURGER, J. (1996).— Family Sternidae (Terns). Pp 624-667 in: J. del Hoyo, A. Elliot & J. Sargatal (eds). *Handbook of the Birds of the World. Vol. 3 Hoatzin to Auk*. Lynx Edicions, Barcelona.
- GOUTNER, V. (1991).— Food and feeding ecology of Gull-billed Terns (*Gelochelidon nilotica*) in Greece. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 46: 373-384.
- JOST, L. (2006).— Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363-375.
- JOST, L. (2007).— Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88: 2427-2439.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. (1998).— *Numerical Ecology 3. Developments in environmental modelling*. Elsevier, Amsterdam.
- MØLLER, A.P. (1977).— Sandternens *Gelochelidon n. nilotica* Gmel. fode i yngletiden i Nordjylland og Camargue, Frankrig, med en oversigt over fodeemner i andre dele af artens udbredelsesområde. *Dansk Orn. Foren. Tidsskr.*, 71: 103-111.
- MØLLER, A.P. (1982).— Coloniality and colony structure in Gull-billed Terns *Gelochelidon nilotica*. *J. Ornithol.*, 123: 41-53.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2.10.1. (2010).— *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org>.

- SÁNCHEZ, J.M., BLASCO, M., CABO, J.M. & MUÑOZ DEL VIEJO, A. (1993).— Evolución de la dieta de *Sterna nilotica* durante la estación reproductora. Pp 377-382 in: J.S. Aguilar, X. Mombaillu & A.M. Paterson (eds). *Status and conservation of seabirds: ecology and Mediterranean Action Plan, Proceedings II Mediterranean Seabird Symposium*. MEDMARAVIS, SEO/BirdLife, Madrid.
- SÁNCHEZ, J.M., MUÑOZ DEL VIEJO, A. & DE LA CRUZ, C. (1991).— Segregación alimentaria entre adultos y pollos de *Gelochelidon nilotica* (GM., 1789) en la laguna de Fuente de Piedra. *Ardeola*, 38: 21-27.
- VARGAS, J.M., ANTÚNEZ, A. & BLASCO, M. (1978).— Comportamiento reproductivo y alimentario de la pagaza piconegra (*Gelochelidon nilotica* L.) en la laguna de Fuente Piedra de Málaga. *Ardeola*, 24: 227-331.